

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
4. September 2003 (04.09.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/073523 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H01L 41/083**,
41/047, 41/24

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE03/00141

(22) Internationales Anmeldedatum:
20. Januar 2003 (20.01.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 07 530.1 22. Februar 2002 (22.02.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **EPCOS AG** [DE/DE]; St.-Martin-Strasse 53, 81669
München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **RIEMER, Steffen**
[AT/AT]; Engelweingartenstrasse 16/5, A-8510 Stainz
(AT).

(74) Anwalt: **EPPING, HERMANN & FISCHER**; Ridler-
strasse 55, 80339 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR).

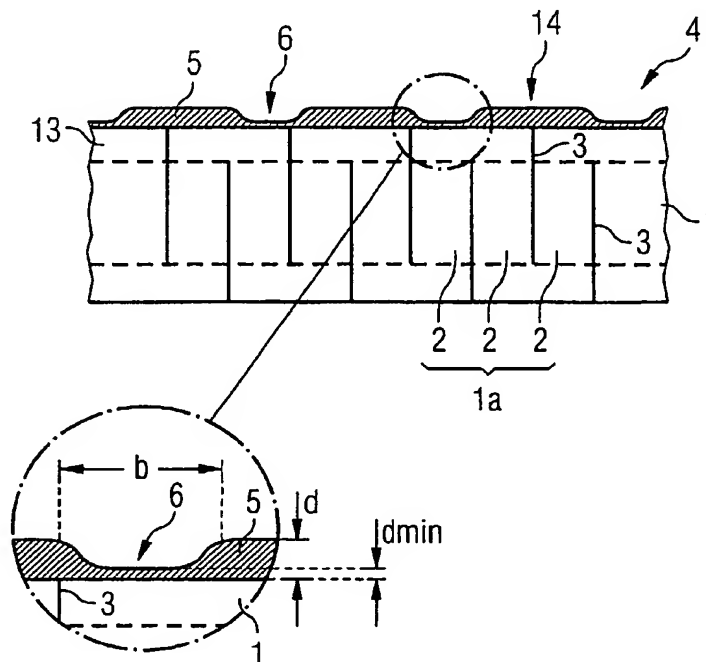
Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: **PIEZO ACTUATOR COMPRISING A STRUCTURED EXTERNAL ELECTRODE**

(54) Bezeichnung: **PIEZOAKTOR MIT STRUKTURIERTER AUSSENELEKTRODE**



(57) Abstract: The invention relates to a piezo actuator, whose external electrodes (5, 5a, 5b) have recesses (6), used to form pre-determined shear points. As a result of said pre-determined shear points, the maximum shear stress that occurs can be reduced, thus lessening the risk of the detachment of the external electrode (5). The invention also relates to a method for producing said piezo actuator.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 03/073523 A2



Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Piezoaktor, dessen Aussenelektroden (5, 5a, 5b) Vertiefungen (6) aufweist, wodurch Soll-Rissstellen gebildet werden. Aufgrund der Soll-Rissstellen kann die maximal auftretende Scherbeanspruchung reduziert und die Gefahr der Ablösung der Aussenelektrode (5) reduziert werden. Es wird ferner ein Verfahren zur Herstellung des Piezoaktors angegeben.

Beschreibung

Piezoaktor mit strukturierter Außenelektrode

- 5 Die Erfindung betrifft ein elektrisches Vielschichtbauelement, insbesondere einen Piezoaktor. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines solchen elektrischen Vielschichtbauelements.
- 10 Es sind Piezoaktoren bekannt, die einen Grundkörper aufweisen, mit einem Stapel von übereinanderliegenden Keramikschichten und dazwischenliegenden Innenelektroden. Die Innenelektroden bestehen aus einer Mischung von Silber und Palladium. Die Keramikschichten enthalten eine Keramik auf der
- 15 Basis von Blei-Zirkon-Titanat, welche aufgrund ihrer ferroelektrischen Eigenschaften einen piezoelektrischen Effekt aufweist. Aufgrund des piezoelektrischen Effekts dehnt sich die Keramik beim Anlegen einer elektrischen Spannung aus, wodurch Aktoren aus einer solchen Vielschichtkeramik gebildet
- 20 werden können.

Bei den bekannten Piezoaktoren sind ferner Außenelektroden vorhanden, die durchgehend auf einer Seitenfläche des Grundkörpers aufgebracht sind und die Innenelektroden kontaktieren.

25

Um die Kosten für die Herstellung der Piezoaktoren zu reduzieren, wird es angestrebt, das Material der Innenelektroden sowie das Material der Außenelektrode durch Kupfer zu ersetzen. Bei den bekannten Piezoaktoren hat die Außenelektrode die Form einer durchgehenden Schicht. Diese Form der Außenelektrode ist für Außenelektroden aus Kupfer nicht geeignet. Bei einer thermischen Belastung, wie sie beispielsweise beim Anlöten von Kontaktelementen an die Außenelektrode auftritt,

30

35 ergibt sich bei einer durchgehenden Schicht eine Scherbelastung zwischen der Außenelektrode und dem Grundkörper des Piezoaktors, die dazu führt, daß die Grenzfläche zwischen der

Außenelektrode und dem Grundkörper geschädigt wird. Diese Schädigung der Grenzfläche geht einher mit einer Verringerung der effektiven Haftfläche zwischen der Außenelektrode und dem Grundkörper.

5

Ein so hergestellter Piezoaktor ist im Laufe seines Einsatzes einer Vielzahl von mechanischen Dehnbelastungen ausgesetzt, welche ihrerseits wieder zu Scherspannungen zwischen dem Grundkörper und der Außenelektrode führen. Diese zusätzlichen Belastungen führen aufgrund der relativ hohen Stabilität der Kupferelektrode dazu, daß die bei der thermischen Belastung entstandenen Schädigungen sich flächig entlang der Grenzfläche ausbreiten und zu einer Ablösung der Außenelektrode führen. Damit fällt der Piezoaktor aus und kann nicht weiter verwendet werden.

15

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein elektrisches Vielschichtbauelement sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung anzugeben, wobei die Gefahr des Ablösens der Außenelektrode vermindert werden soll.

20

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein elektrisches Vielschichtbauelement nach Patentanspruch 1 sowie durch ein Verfahren zu dessen Herstellung nach Patentanspruch 14. Die weiteren Patentansprüche beziehen sich auf vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

25

Es wird ein elektrisches Vielschichtbauelement angegeben, das einen Grundkörper umfaßt. Der Grundkörper enthält einen Stapel von übereinanderliegenden Keramikschichten und dazwischenliegenden Innenelektroden. An einer Seitenfläche des Grundkörpers ist eine Außenelektrode zur Kontaktierung von Innenelektroden aufgebracht.

30

Die Außenelektrode hat die Form einer Schicht, bei der wenigstens eine Vertiefung vorgesehen ist.

35

3

An der Stelle der Vertiefung kann die Dicke der Schicht vermindert sein. Dadurch entsteht an dieser Stelle eine Soll-Rißstelle, an der die Zug- und Druckfestigkeit der Schicht beziehungsweise der Außenelektrode vermindert ist. Dadurch
5 genügen schon relativ kleine Scherbelastungen der Außenelektrode gegenüber dem Grundkörper, um an der Soll-Rißstelle einen Riß durch die Schicht zu erzeugen. Dadurch kann die auf die gesamte Schicht wirkende Scherbelastung deutlich verringert werden, da sich die die Scherbelastung erzeugenden Zug-
10 beziehungsweise Druckspannungen entlang der Schicht beziehungsweise entlang der Oberfläche des Grundkörpers nur noch über einen entsprechend verkürzten Weg aufaddieren können.

Insbesondere kann die Schichtdicke an der Stelle der Vertiefungen ein lokales Minimum aufweisen.
15

Genauso ist es aber auch möglich, die Vertiefung in der Außenelektrode so auszuführen, daß die Außenelektrode an der Stelle der Vertiefung unterbrochen ist. Dadurch wird bereits
20 bei der Herstellung der Außenelektrode gewissermaßen ein Riß vorgesehen, so daß sich von Haus aus keine großen Scherspannungen durch Addition von Zug- beziehungsweise Druckbelastungen über lange Strecken ergeben können.

25 Die Außenelektrode kann Bereiche mit im wesentlichen konstanter Schichtdicke aufweisen, was den Vorteil hat, daß die Außenelektrode durch ein Siebdruckverfahren aufgebracht werden kann.

30 In einer vorteilhaften Ausführungsform des elektrischen Vielschichtbauelements enthält die Außenelektrode Kupfer, wodurch die Materialkosten für das Bauelement reduziert werden können.

35 Desweiteren ist es vorteilhaft, wenn die Keramikschichten piezoelektrisch aktiv sind. Dies hat den Vorteil, daß das elektrische Vielschichtbauelement als Piezoaktor verwendet

werden kann. Einen piezoelektrischen Effekt erhält man beispielsweise durch Verwendung einer Blei-Zirkonat-Titanat-basierten Keramik.

- 5 Die Vertiefungen können in Form von Gräben verlaufen, wobei die Gräben sich entlang einer Längsachse erstrecken. Die Projektion dieser Längsachsen auf die außenelektrodenseitige Seitenfläche des Stapels von übereinanderliegenden Keramik-
- 10 schichten beziehungsweise Innenelektroden schneidet die Innenelektroden in einem Winkel. Dadurch wird gewährleistet, daß jede entlang der entsprechenden Außenfläche des Stapels verlaufende Innenelektrode kontaktiert werden kann.

- 15 Dies bedeutet, daß der Winkel α einen von 0 und 180° verschiedenen Wert annimmt.

- Es können vorteilhafterweise mehrere Vertiefungen äquidistant angeordnet sein. Dies hat den Vorteil, daß die Außenelektrode gleichmäßig in mehrere Bereiche unterteilt ist, was eine entsprechende Reduktion der maximalen auftretenden Scherspannung
- 20 bedeutet.

- Es können ferner mehrere Vertiefungen gleichmäßig über die Schicht verteilt sein.
- 25

- Darüber hinaus ist es auch möglich, mehrere Vertiefungen so anzuordnen, daß sie eine periodisch wiederkehrende Struktur (zum Beispiel Raute, Quadrat) bilden.

- 30 Um die Funktion der Vertiefung als Soll-Rißstelle zu gewährleisten, ist es vorteilhaft, wenn die minimale Schichtdicke am Ort der Vertiefung maximal 75 % der Schichtdicke im Bereich der im wesentlichen konstanten Schichtdicke beträgt.

- 35 Die Außenelektrode kann in Form einer Siebdruckpaste, die Kupferpulver enthält, aufgebracht sein.

Das Aufbringen der Außenelektrode in Form einer Siebdruckpaste hat den Vorteil, daß durch das Verwenden entsprechender Siebdruckmasken eine sichere und gleichmäßige Anordnung von Vertiefungen mit einfachen Mitteln erreicht werden kann.

5

Bei dem Aufbringen der Außenelektrode in Form einer Siebdruckpaste beziehungsweise mittels eines Siebdruckverfahrens ist vorzugsweise darauf zu achten, daß die Vertiefungen eine minimale Breite von 200 μm aufweisen, da ansonsten aufgrund der Konsistenz der Paste beziehungsweise der verwendeten Meshzahl eine definierte Vertiefung nicht mehr gewährleistet ist. Kleinere Vertiefungen lassen sich aufgrund der Dünnflüssigkeit der üblicherweise verwendeten Siebdruckpaste nur mit erhöhtem Aufwand realisieren. Es wäre jedoch denkbar, Vertiefungen mit kleineren lateralen Ausdehnungen zu erzeugen, indem eine strukturviskosere beziehungsweise thixotropere Siebdruckpaste verwendet wird.

Es wird darüber hinaus ein Verfahren zur Herstellung eines elektrischen Vielschichtbauelements angegeben, das folgende Schritte umfaßt:

a) Herstellen eines Grundkörpers mit einem Stapel von übereinanderliegenden Keramikschichten und dazwischenliegenden Innenelektroden sowie mit einer an einer Seitenfläche des Grundkörpers aufgetragenen Außenelektrode zur Kontaktierung von Innenelektroden, die die Form einer Schicht aufweist und bei der wenigstens eine Vertiefung vorgesehen ist.

30

b) Kontaktieren der Außenelektrode mit einem Kontaktelement unter Ausüben einer Scherbeanspruchung zwischen der Außenelektrode und der Seitenfläche des Grundkörpers.

Üblicherweise werden für die Keramikschichten und die Außenelektrode Materialien verwendet, deren thermische Ausdehnungskoeffizienten voneinander verschieden sind.

Das Verfahren zur Herstellung des elektrischen Vielschichtbauelements hat den Vorteil, daß trotz Ausüben der Scherbeanspruchung aufgrund der durch die Vertiefung gebildeten Soll-
5 Rißstellen beziehungsweise bereits vorhandenen Risse die Gefahr der Ablösung der Außenelektrode vermindert ist.

Trotz der Verwendung von an ihre jeweilige Funktion angepaßter Materialien mit üblicherweise unterschiedlichem thermischen Ausdehnungskoeffizienten für Außenelektrode und Kera-
10 mikschichten erlaubt es die Erfindung, daß das Kontaktieren der Außenelektrode mit einem Kontaktelement durch Löten erfolgt.

Bei Verwendung von Kupfer für die Außenelektrode und bei Verwendung einer PZT-Keramik für die Keramiksichten des Stapels kommt es in Betracht, das Löten bei einer Temperatur > 200° C durchzuführen, was die Verwendung entsprechend hochschmelzender Lote erlaubt. Solche hochschmelzenden Lote haben
20 den Vorteil, daß sie den Einsatz des elektrischen Bauelements, beispielsweise des Piezoaktors, bei Temperaturen von bis zu 150° C erlauben, wie sie beispielsweise am Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeugs auftreten.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und den dazugehörigen Figuren näher erläutert.

Figur 1 zeigt beispielhaft ein elektrisches Vielschichtbauelement im schematischen Querschnitt

Figur 2 zeigt eine weitere Ausführungsform einer Außenelektrode

Figur 3 zeigt unterschiedliche Verläufe von Scherspannungen bei durchgehender und unterbrochener Außenelektrode

Figur 4 zeigt Vertiefungen in Form von Gräben

Figur 5 zeigt entlang eines regelmäßigen Gitters angeordnete Vertiefungen

- 5 Figur 6 zeigt beispielhaft ein elektrisches Vielschichtbauelement, wobei am Rand des Grundkörpers eine Zwischenschicht ausgebildet ist.

10 Figur 1 zeigt einen Piezoaktor, mit einem Grundkörper 1, der einen Stapel 1a von übereinanderliegenden Keramikschichten 2 und dazwischenliegenden Innenelektroden 3 enthält. Der Piezoaktor beziehungsweise der Grundkörper 1 ist liegend dargestellt. Grund- und Deckfläche des Stapels 1a befinden sich also auf der rechten beziehungsweise auf der linken Seite von
15 Figur 1. Die Innenelektroden 3 reichen abwechselnd einmal bis zum oberen Rand beziehungsweise bis zum unteren Rand des Stapels 1a. Entlang von passiven Zonen 13 ist nur jede zweite Innenelektrode 3 vorhanden, so daß in dieser Zone nur eine sehr geringe Auslenkung des Piezoaktors bei Anlegen einer
20 elektrischen Spannung zwischen den vom unteren Ende des Stapels 1a und den vom oberen Ende des Stapels 1a ausgehenden Innenelektroden 3 resultiert.

An der oberen Seitenfläche 4 des Grundkörpers 1 ist eine Außenelektrode 5 zur Kontaktierung von Innenelektroden 3 aufgebracht. Die Außenelektrode 5 ist mit Vertiefungen 6 versehen. Im Detail zu Figur 1 ist erkennbar, daß die Vertiefungen 6 in Form von lokalen Minima der die Form der Außenelektrode bestimmenden Schicht gegeben sind. Innerhalb der Vertiefung 6
30 weist die Schichtdicke d ein Minimum d_{\min} auf. Desweiteren weist die Außenelektrode 5 Bereiche im wesentlichen konstanter Schichtdicke d auf, was bedeutet, daß in diesen Bereichen die Schichtdicke d um weniger als 10 % variiert. Ferner ist im Detail von Figur 1 zu erkennen, daß die Vertiefung 6 eine
35 Breite b aufweist, welche bei Aufbringen der Außenelektrode 5 mittels Siebdruckverfahren ein gewisses Mindestmaß nicht unterschreiten soll, da ansonsten die üblicherweise verwendeten

Siebdruckverfahren speziell angepaßt werden müssen, beispielsweise durch Verwenden einer strukturviskoserer Siebdruckpaste. Die minimale Schichtdicke d_{\min} im Bereich der Vertiefung 6 soll höchstens 75 % der Schichtdicke d der Außen-
5 Elektrode 5 betragen, da ansonsten die Funktion der Soll-Rißstelle nicht mehr gewährleistet ist.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel ist in Figur 2 beschrieben. Dort ist die Außen-
10 Elektrode 5 an der Seitenfläche 4 des Grundkörpers 1 an der Stelle der Vertiefung 6 unterbrochen. Dies bedeutet, daß die Schichtdicke d im Bereich der Vertiefung 6 gleich Null ist. Diese Ausführungsform hat den Vorteil, daß die Außen-
15 Elektrode 5 bei beispielsweise thermischer Belastung nicht erst am Ort der Soll-Rißstelle reißen muß, sondern daß die Unterbrechungen bereits vorhanden sind und die maximal auftretende Scherspannung schon von Haus aus reduziert ist (vgl. auch die Erläuterung zu Figur 3).

Figur 3 erläutert den Effekt, den das Unterbrechen einer Außen-
20 Elektrode 5 auf die auftretenden Scherspannungen bei beispielsweise ausgelenktem Piezoaktor hat. Hierzu ist in Figur 3 der Grundkörper 1 eines Piezoaktors schematisch dargestellt. Die Auslenkung des Piezoaktors ist schematisch durch Doppelpfeile dargestellt. Auf der oberen Seite des Grundkörpers 1 ist eine durchgehende Außen-
25 Elektrode 5a dargestellt. Auf der Unterseite des Piezoaktors beziehungsweise des Grundkörpers 1 ist eine mittels der Vertiefung 6 unterbrochene Außen-
30 Elektrode 5b schematisch im Querschnitt dargestellt. Zieht man nun für die obere Außen-
35 Elektrode 5a und die untere Außen-
30 Elektrode 5b dieselbe Zugspannung (angedeutet durch die beiden Doppelpfeile) in Betracht, so gibt sich für den qualitativen Verlauf der Scherspannung S der unterhalb von Figur 3 gezeigte Verlauf. Dabei beschreibt die Kurve 10 den Verlauf der Scherspannung S in Abhängigkeit von der Längskoordinate z des Grundkörpers 1 für die durchgehende Außen-
35 Elektrode 5a. Hingegen beschreibt die Kurve 11 den Verlauf der Scherspannung S in Abhängigkeit von der Längskoordinate z des Grund-

körpers 1 für die unterbrochene Außenelektrode 5b. Da sich die Zug- beziehungsweise Druckspannungen im Fall der Außenelektrode 5a über einen längeren Weg addieren, entsteht für die Außenelektrode 5a auch die größere maximale Scherbeanspruchung, in Figur 3 mit S_2 gekennzeichnet. Bei der unterbrochenen Außenelektrode 5b kann sich die Zug- beziehungsweise Druckspannung nur über einen kürzeren Weg addieren, was dazu führt, daß, wie dem Verlauf der Kurve 11 zu entnehmen, eine geringere maximale Scherbeanspruchung S_1 resultiert. Diese niedrigere maximale Scherspannung führt dazu, daß die Gefahr des Abreißen der Außenelektrode 5b bei mechanischer Beanspruchung, beispielsweise durch Ziehen an mit der Außenelektrode 5b verbundenen Drähten oder auch durch eine Vielzahl von Auslenkungen des Piezoaktors, reduziert ist.

Eine günstige minimale Breite b beträgt zirka $200\text{ }\mu\text{m}$. Eine typischerweise durch Siebdruckverfahren herstellbare Schichtdicke d beträgt zirka $15 - 25\text{ }\mu\text{m}$.

Figur 4 zeigt Vertiefungen 6 in einer Außenelektrode 5 in Form von entlang einer Längsachse 7 verlaufenden Gräben. Figur 4 ist eine Draufsicht auf eine beispielhafte Außenelektrode 5. Es sind ferner Linien 8 in Figur 6 gezeigt, die den Verlauf von den Innenelektroden 3 entsprechend Figur 1 symbolisieren. Die Längsachsen 7 verlaufen im wesentlichen zueinander parallel und schneiden die Linien 8 in einem Winkel α , der von 0° und 180° verschieden ist. Daraus ergibt sich, daß jede zweite Innenelektrode, welche durch Linien 8 repräsentiert sind, von Bereichen 14 mit im wesentlichen konstanter Schichtdicke d der Außenelektrode 5 kontaktiert werden. Dadurch kann sichergestellt werden, daß jede zweite Innenelektrode 3 von der Außenelektrode 5 beziehungsweise von Bereichen 14 mit im wesentlichen konstanter Schichtdicke der Außenelektrode 5 kontaktiert werden.

Figur 5 zeigt in Draufsicht ein weiteres Ausführungsbeispiel für eine strukturierte Außenelektrode 5. Dabei sind Vertie-

fungen 6 in Form von Kreisen vorgesehen, die ein quadratisches Gitter bilden.

Bei dem Aufbringen der Außenelektrode 5 in Form einer Siebdruckpaste wird üblicherweise eine Siebdruckpaste verwendet, die glasfrittehaltig ist. Diese Glasfritte wird verwendet, um die mechanische Anbindung der Außenelektrode 5 an den Grundkörper 1 zu verbessern. Je nach verwendeter Glasfritte und je nach verwendeter Keramik beziehungsweise abhängig von der Einstellung weiterer Prozeßparameter kann es vorkommen, daß die Glasfritte eine zwischen der Außenelektrode 5 und dem Rand des Grundkörpers 1 liegende, im Bereich der Innenelektroden 3 unterbrochene Zwischenschicht 9 bildet. Bei der Betrachtung des Problems des Abscherens beziehungsweise des Ablösens der Außenelektrode 5 ist die Zwischenschicht 9 aus Glasfritte dem Grundkörper 1 zuzuordnen, so wie es aus Figur 6 hervorgeht. Ablösungsprozesse finden bevorzugt zwischen der Außenelektrode 5 und der Zwischenschicht 9 statt.

Figur 6 zeigt außerdem zwei Kontaktelemente 12, die beispielsweise die Form von dünnen Drähten haben können und die durch Löten mit der Außenelektrode 5 verbunden sind. Bei Verwendung einer PZT-Keramik für die Keramikschichten mit einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten von $1,5 - 2,0 \times 10^{-6}$ m/mK und bei Verwendung einer Außenelektrode 5 aus Kupfer mit einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten von 19×10^{-6} m/mK ergibt sich durch das Vorsehen der Vertiefungen 6 die Möglichkeit, das Anlöten der Kontaktelemente 12 bei einer Temperatur von zirka 300°C durchzuführen, was die Verwendung von hochschmelzenden Loten, beispielsweise von Pb-basierten Loten erlaubt.

Als Glasfritte kann beispielsweise eine Zusammensetzung verwendet werden, die Bleioxid, Siliziumoxid, Boroxid und gegebenenfalls weitere Bestandteile enthält.

11

Die vorliegende Erfindung beschränkt sich nicht auf die Verwendung bei Piezoaktoren sondern ist im Prinzip bei allen Vielschichtbauelementen, beispielsweise auch bei Kondensatoren anwendbar.

Patentansprüche

1. Elektrisches Vielschichtbauelement
 - mit einem Grundkörper (1)
 - 5 - enthaltend einen Stapel (1a) von übereinanderliegenden Keramikschichten (2) und dazwischenliegenden Innenelektroden (3)
 - bei dem an einer Seitenfläche (4) des Grundkörpers (1) eine Außenelektrode (5) zur Kontaktierung von Innenelektroden
 - 10 (3) aufgebracht ist,
 - die die Form einer Schicht aufweist,
 - und bei der wenigstens eine Vertiefung (6) vorgesehen ist.
2. Bauelement nach Anspruch 1,- 15 bei dem die Außenelektrode (5) Bereiche (14) mit im wesentlichen konstanter Schichtdicke (d) aufweist.
3. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 oder 2, bei dem die Außenelektrode (5) Kupfer enthält.
- 20 4. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem Keramikschichten (2) piezoelektrisch aktiv sind.
5. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4,- 25 bei dem die Vertiefungen (6) in Form von Gräben mit Längsachsen (7) verlaufen, und
- bei dem die Projektion der Längsachsen (7) auf die außenelektrodenseitige Seitenfläche des Stapels (1a) die Innenelektroden (3) in einem Winkel α schneiden.
- 30 6. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem mehrere Vertiefungen (6) äquidistant angeordnet sind.
- 7. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5,- 35 bei dem mehrere Vertiefungen (6) gleichmäßig über die Außenelektrode (5) verteilt sind.

13

8. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
bei dem mehrere Vertiefungen (6) eine periodisch wiederkeh-
rende Struktur bilden.

5 9. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
bei dem die Schichtdicke (d) in Vertiefungen (6) ein lokales
Minimum (d_{\min}) aufweist.

10. Bauelement nach Anspruch 9,
10 bei dem d_{\min} maximal 75 % der Schichtdicke (d) beträgt.

11. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 10,
bei dem die Außenelektrode (5) an den Vertiefungen (6) unter-
brochen ist.

15 12. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 11,
bei dem die Außenelektrode (5) in Form einer Siebdruckpaste,
enthaltend Kupferpulver, aufgebracht ist.

20 13. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 12,
bei dem die Vertiefungen (6) eine Breite (b) von mindestens
200 μm aufweisen.

14. Verfahren zur Herstellung eines elektrischen Vielschicht-
25 bauelements mit folgenden Schritten:

a) Herstellen eines Grundkörpers (1) enthaltend einen Stapel
(1a) von übereinanderliegenden Keramiksichten (2) und
dazwischenliegenden Innenelektroden (3), bei dem an der
30 Seitenfläche (4) des Grundkörpers (1) eine Außenelektrode
(5) zur Kontaktierung von Innenelektroden (3) aufgebracht
ist, die die Form einer Schicht aufweist und bei der we-
nigstens eine Vertiefung (6) vorgesehen ist

35 b) Kontaktieren der Außenelektrode (5) mit einem Kontaktele-
ment (12) unter Ausüben einer Scherbeanspruchung zwischen

14

der Außenelektrode (5) und der Seitenfläche (4) des Grundkörpers (1).

15. Verfahren nach Anspruch 14,

5 wobei für die Außenelektrode (5) und die Keramikschichten (2) Materialien mit verschiedenen thermischen Ausdehnungskoeffizienten verwendet werden und wobei das Kontaktieren der Außenelektrode (5) mit einem Kontaktelement (12) durch Löten erfolgt.

10

16. Verfahren nach Anspruch 15,

wobei für die Außenelektrode Kupfer und für die Keramikschichten eine PZT-Keramik verwendet wird, und wobei zur Kontaktierung der Außenelektrode (5) Drähte durch Löten bei ei-
15 ner Temperatur $> 200^{\circ} \text{C}$ an die Außenelektrode (5) befestigt werden.

FIG 1

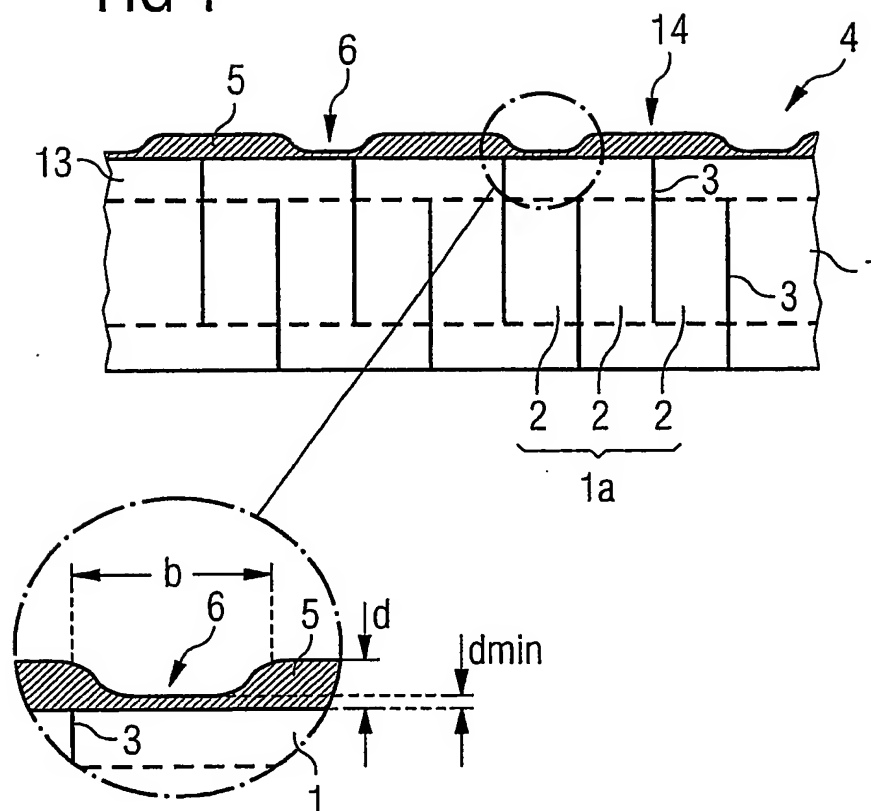


FIG 2

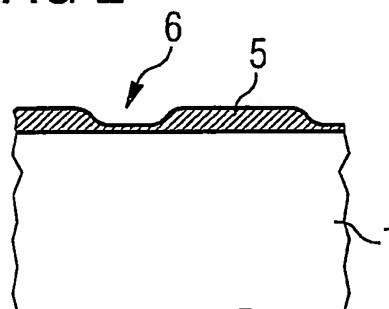


FIG 3

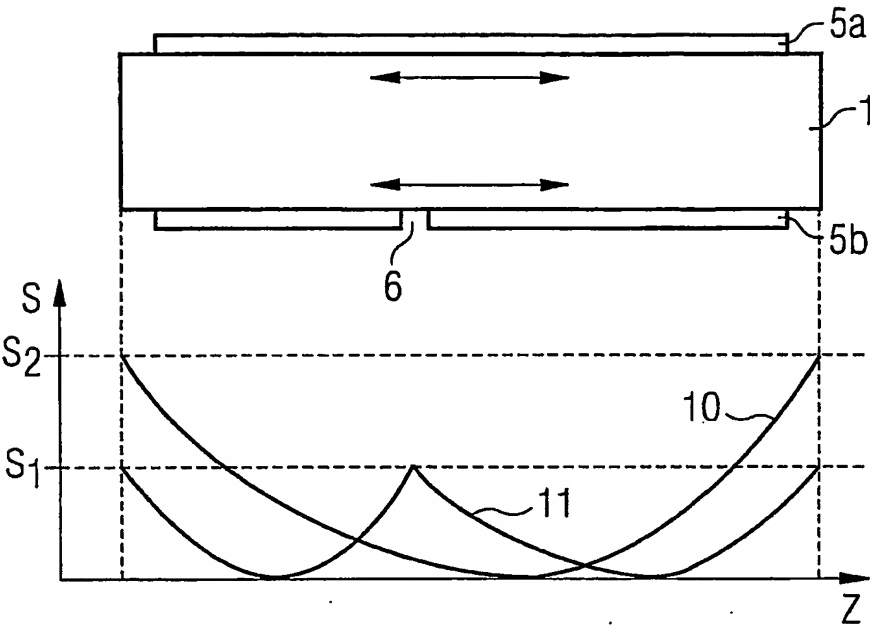


FIG 4

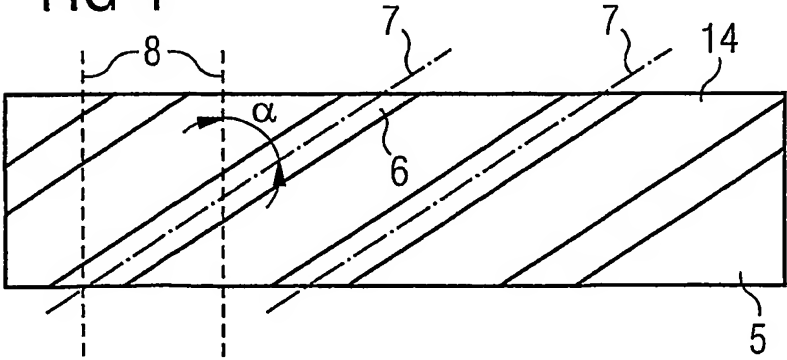


FIG 5

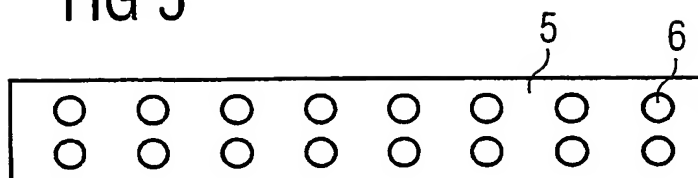


FIG 6

